

## KONSEP DISAIN TERAS PERANGKAT KRITIK SILISIDA

YUSI EKO Y, KUN SUTJARSO O.

### ABSTRAK

**KONSEP DISAIN TERAS PERANGKAT KRITIK SILISIDA.** Telah dilakukan pembuatan konsep disain teras perangkat kritik dengan menggunakan bahan bakar uranium silisida (bahan bakar silisida). Pembuatan konsep disain teras perangkat kritik silisida dimaksudkan untuk mendapatkan disain teras perangkat kritik silisida yang dapat dipergunakan untuk meneliti berbagai macam tipe bahan bakar silisida. Disain yang dikerjakan meliputi perhitungan untuk menentukan konfigurasi teras perangkat kritik dengan elemen bakar silisida yang memiliki densitas 250 gr/EB, 275 gr/EB, 300 gr/EB dan 350 gr/EB. Dengan menggunakan program Batan-3Diff diperoleh hasil perhitungan kekritisan dan konfigurasi teras dari masing-masing tipe bahan bakar. Berdasarkan konfigurasi teras dari bahan bakar silisida maka diperoleh didisain teras kritis silisida. Disain teras silisida merupakan suatu disain konseptual yang dapat dikembangkan menjadi basic disain yang lebih lengkap.

### ABSTRACT

**CONCEPTUAL DESIGN OF THE SILICIDE CORE FOR THE CRITICAL ASSEMBLY.** Using Uranium Silicide fuel element, the conceptual design of the critical assembly's core has been done. The conceptual design of the silicide critical assembly's core is used farther to produce the multipurpose design of silicide critical assembly. The design covered the calculation to determine the critical assembly core configuration using the uranium silicide fuel element with density of 250 gr/F.E, 275 gr/F.E, 300 gr/F.E and 350 gr/F.E. Batan-3DIFF program is used to calculate the criticality of each core configuration. Based on the core configuration which has been calculated, the conceptual design for the silicide critical assembly's core. The result of these conceptual design can be used to develop the basic design of critical assembly.

### PENDAHULUAN

Saat ini BATAN telah memiliki sebuah reaktor nuklir untuk penelitian dan produksi isotop dengan daya 30 MW termal, yang dikenal dengan Reaktor Serba Guna G.A. Siwabessy (RSG-GAS). Reaktor tersebut memiliki konfigurasi teras yang tersusun dari bahan bakar jenis Oksida ( $U_3O_8$ -Al). Sesuai dengan perkembangan ilmu pengetahuan telah ditemukan bahan bakar reaktor jenis baru yaitu bahan bakar Silisida ( $U_3Si_2$ -Al). Bahan bakar

Silisida memiliki berbagai kelebihan bila dibandingkan dengan jenis Oksida, antara lain memiliki konduktivitas panas yang lebih tinggi, kerapatan Uranium yang lebih tinggi serta lebih mudah dibentuk. Dengan adanya bahan bakar jenis baru yang lebih unggul, maka BATAN merencanakan untuk menggantikan bahan bakar jenis Oksida dengan jenis Silisida. Untuk mengetahui sifat dan karakteristik reaktor berbahan bakar jenis Silisida maka terlebih dahulu dibuat suatu perangkat kritis, yaitu suatu reaktor nuklir berdaya rendah (Zero



Power Reactor) yang berdaya sekitar 100 watt termal.

Berbagai eksperimen dapat dilakukan pada perangkat kritik. Eksperimen-eksperimen tersebut antara lain kalibrasi daya dan instrumentasi reaktor serta eksperimen untuk mengetahui posisi sumber neutron yang tepat, reaktivitas lebih teras, distribusi fluks neutron, void koefisien, koefisien reaktivitas sisipan material dan lain sebagainya. Hasil yang diperoleh digunakan untuk memverifikasi disain kriteria untuk reaktor jenis Silisida, selain itu juga untuk memverifikasi paket-paket program yang digunakan dalam perhitungan dengan cara membandingkan hasil eksperimen dengan hasil perhitungan.

Suatu disain yang harus dipersiapkan untuk pembuatan perangkat kritik adalah konsep disain untuk perangkat kritik silisida. Konsep disain perangkat kritik adalah pembahasan disain perangkat kritik secara garis besar. Konsep disain membahas antara lain kriteria disain perangkat kritik, konsep disain teras, diskripsi komponen teras dan analisis keselamatan. Konsep teras perangkat kritik terdiri dari susunan elemen bakar silisida dalam sebuah reaktor yang diisi dengan bahan moderator air. Struktur optimal teras yang dicapai melalui perhitungan disebut dengan konfigurasi teras. Konfigurasi teras silisida yang terbentuk adalah bagian utama dalam pembuatan konsep disain perangkat kritik ini.

### KRITERIA DISAIN

Kriteria pokok yang harus dipenuhi dalam disain perangkat kritik antara lain :

1. Susunan teras perangkat kritik

terdiri hanya terdiri dari elemen bakar silisida dan moderator air ringan ( $H_2O$ ), tanpa adanya kehadiran material kendali dan bahan struktur yang berlebihan sehingga dapat mengganggu keseimbangan neutronik.

2. Susunan teras merupakan susunan yang fleksibel, sehingga dapat memungkinkan adanya setiap bentuk perubahan susunan elemen bakar yang dikehendaki.
3. Dengan rendahnya daya yang dibangkitkan dalam teras, maka adanya persoalan dengan efek temperatur pada koefisien reaktivitas teras dan termal-hidraulik pada teras dapat diabaikan<sup>(1)</sup>.
4. Penggunaan sistem instrumentasi dan perangkat keselamatan sangat sederhana, sehingga tidak perlu mengganggu konfigurasi teras.

### KONSEP DISAIN TERAS PERANGKAT KRITIK.

Konsep disain teras perangkat kritik silisida dibuat dengan langkah sebagai berikut: Pertama dengan melakukan perhitungan kekritisan untuk seluruh kemungkinan konfigurasi teras, kemudian dicari dari hasil perhitungan tersebut konfigurasi yang geometris. Perhitungan kekritisan dilakukan paket program kalkulasi sel WIMS/D4 dan paket program perhitungan teras Batan-3DIFF. Program WIMS/D4 merupakan paket program untuk perhitungan sel yang menerapkan teori transport<sup>(2)</sup>. Penyelesaian perhitungan sel tersebut menghasilkan tampang lintang makroskopik material teras reaktor yang akan digunakan sebagai masukan program Batan-3DIFF untuk perhitungan teras. Dengan program Batan-3DIFF ini, akan didapat harga faktor multiplikasi efektif ( $K_{eff}$ )<sup>(3)</sup>.

Realisasi penggunaan Batan-

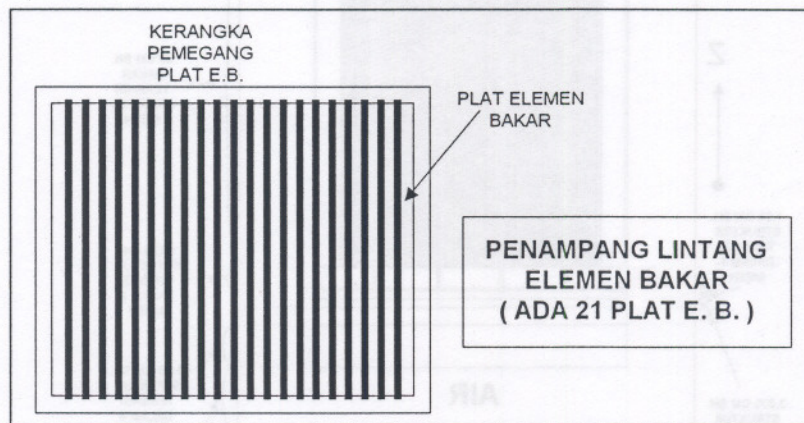


3DIFF untuk perhitungan kekritisannya dengan menggunakan bahan bakar Silisida antara lain dengan mengaplikasikan model teras silisida ke dalam inputan paket program Batan-3DIFF. Model teras silisida digambarkan dengan susunan dari elemen bakar, bahan struktur dan bahan moderator dengan struktur sebagai berikut :

Teras Silisida mempunyai sel 5X5 dengan ukuran masing-masing panjang 8,1 cm, lebar 7,71 cm dan tinggi 87 cm. Setiap elemen bakar Silisida terdiri dari susunan 21 pelat elemen bakar secara beraturan dengan sela tipis diantara pelat untuk memungkinkan bahan moderator sekaligus sebagai bahan pendingin dapat menempati ruangan tersebut. Untuk tujuan penyederhanaan, geometri elemen bakar dianggap sebagai ruang homogen. Di setiap ujung elemen bakar terdapat klem pemegang elemen bakar. Susunan bahan bakar yang dimaksud telah dicapai kemudian diletakkan dalam moderator air. Moderator air berfungsi dari sisi

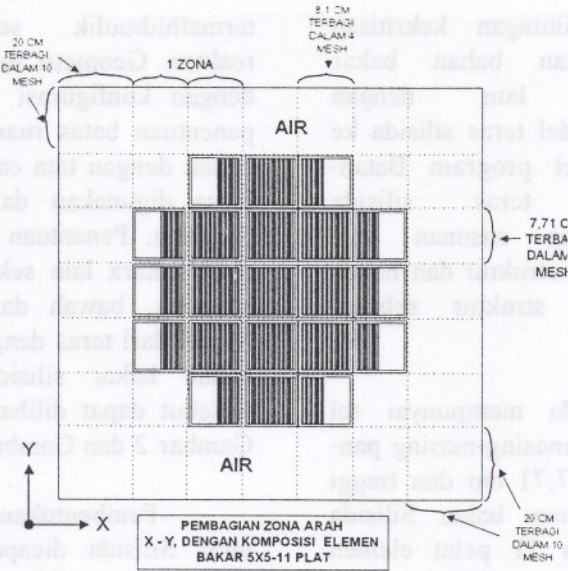
termalhidraulik sebagai pendingin reaktor. Geometri teras dibentuk sesuai dengan konfigurasi elemen bakar dan penentuan batas ruang moderator yang sesuai dengan tata cara pemodelan yang biasa digunakan dalam banyak paket program. Penentuan batas ruang moderator antara lain sekitar 20 cm ke arah samping, bawah dan atas dari teras. Model dari teras dengan susunan elemen bahan bakar silisida dan moderator tersebut dapat dilihat pada Gambar.1, Gambar.2 dan Gambar.3.

Pembentukan konfigurasi kritis teras Silisida dicapai secara bertahap dengan memasukkan pelat-pelat elemen bakar satu demi satu ke dalam susunan teras dengan mempertimbangkan persoalan kesetimbangan geometri. Dengan susunan simetri teras yang baik maka diperoleh hasil perhitungan kekritisannya yang sesuai dengan konsep konfigurasi teras. Penggunaan 5 jenis bahan bakar dalam perhitungan akan menghasilkan pula 5 konfigurasi teras yang berbeda.

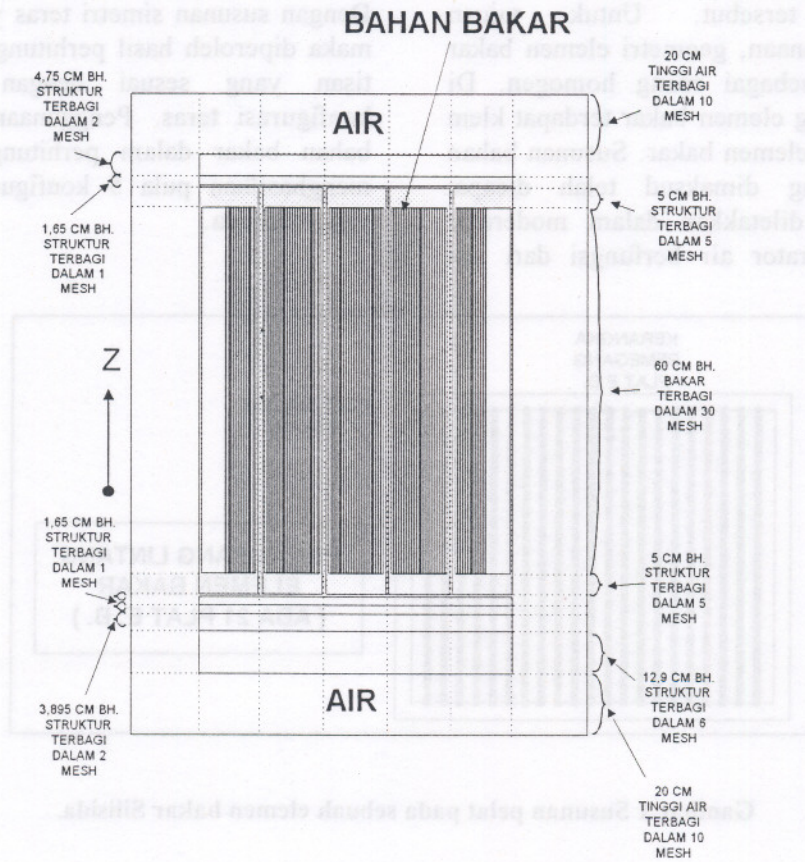


Gambar.1 Susunan pelat pada sebuah elemen bakar Silisida.





Gambar.2 Penampang atas teras Silisida.



Gambar.3 Penampang samping teras silisida



## DISKRIPSI KOMPONEN TERAS

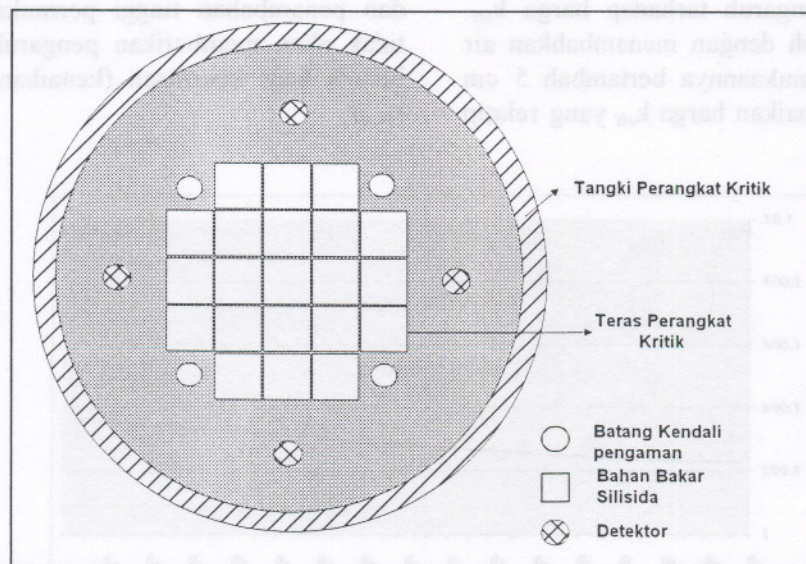
Teras silisida dibangun dari komponen-komponen teras dengan diskripsi seperti dalam Tabel.1.

Tabel.1 Data komponen teras

| Komponen                  | Data                      |
|---------------------------|---------------------------|
| Pelat elemen bakar nuklir | $U_3Si_2$ -Al             |
| Bahan struktur stringer   | Zirconium-Aluminium Alloy |
| Moderator                 | $H_2O$                    |
| Bentuk teras              | Terbuka                   |

Seperti telah disinggung sebelumnya, bahwa penyediaan sistem instrumentasi dan bahan penyerap neutron seperti halnya batang kendali yang biasa digunakan pada reaktor nuklir bersifat melengkapi sistem yang ada. Sistem instrumentasi sebagai sarana sistem pengukuran besaran nuklir mutlak diperlukan<sup>(4)</sup>, walaupun tidak dibutuhkan secara langsung dalam perhitungan.

Demikian juga dengan hadirnya bahan penyerap neutron tidak dikehendaki dalam perhitungan teras, namun sangat dibutuhkan dalam analisis keselamatannya. Penyediaan instrumentasi pengukuran fluks neutron/detektor neutron dan bahan penyerap neutron/batang kendali dalam geometri teras seperti ditunjukkan dalam gambar 4.



Gambar.4 Posisi sistem instrumentasi dan batang kendali di dalam teras



## PEMBAHASAN

Salah satu hasil perhitungan kekritisitas dari program Batan-3DIFF adalah konfi-gurasi teras yang geometris. Dalam konfigurasi kritis ini menyatakan antara lain jumlah kritis pelat elemen bakar di dalam teras untuk setiap tipe bahan bakar Silisida, seperti yang diperlihatkan dalam Tabel.2. Dalam Tabel.2 diperlihatkan adanya hubungan jumlah pelat elemen bakar dan kenaikan

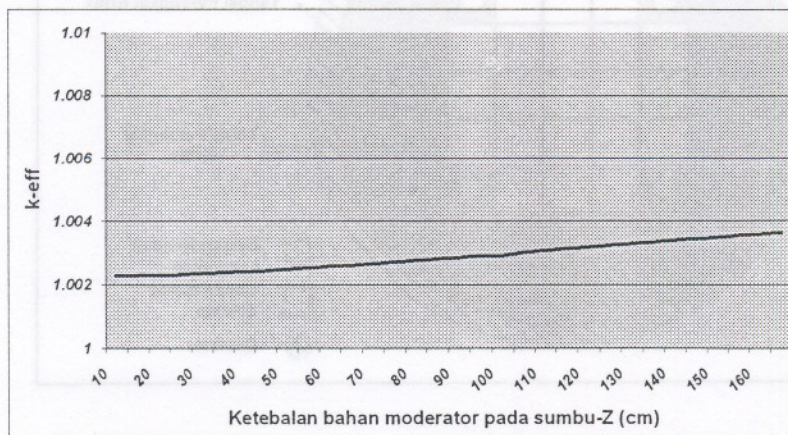
rapat uranium silisida dalam elemen bahan bakar. Perbedaan jumlah pelat tertinggi (329) dan jumlah pelat terendah (281) akan hanya menghasilkan penambahan maksimal 5 pelat elemen bakar pada elemen bakar terluar dari konfigurasi teras yang terkecil (281 pelat). Jumlah ini berarti tidak akan menambah jumlah bahan bakar baru kecuali hanya menambah jumlah pelat pada elemen bakar yang sama.

Tabel.2 Jumlah kritis pelat bahan bakar Silisida.

| JENIS B.B. | KERAPATAN URANIUM SILISIDA DALAM BAHAN BAKAR (gr./E.B.) | JUMLAH PELAT DALAM TERAS |
|------------|---|--------------------------|
| 1.         | 250   | 329                      |
| 2.         | 275   | 309                      |
| 3.         | 300   | 300                      |
| 4.         | 350   | 281                      |

Penentuan batas geometri moderator sebesar 20 cm dari posisi bahan struktur teras terluar adalah sesuai dengan model standar. Anggapan ini diambil karena dengan penambahan angka lebih besar dari 20 cm, maka tidak akan banyak berpengaruh terhadap harga  $k_{eff}$ . Sebagai contoh dengan menambahkan air sehingga permukaannya bertambah 5 cm dipe-roleh kenaikan harga  $k_{eff}$  yang relatif

kecil, yakni sekitar  $7 \cdot 10^{-4}$ . Perhitungan  $k_{eff}$  se-bagai fungsi kenaikan permukaan air meng-hasilkan tendensi kenaikan  $k_{eff}$  yang hampir sama (lihat Grafik.1). Hal ini menunjukkan bahwa batas ruang geometris moderator adalah pada 20 cm, dan penambahan tinggi permukaan air tidak akan memberikan pengaruh yang berarti bagi kekritisitas (kenaikan harga  $k_{eff}$ ).



Grafik.1 Pengaruh harga penambahan air terhadap perubahan harga k-eff



## KAJIAN KESELAMATAN DISAIN

Keselamatan merupakan aspek penting dalam disain atau perancangan, terlebih untuk disain perangkat atau instalasi nuklir yang memiliki potensi bahaya tinggi. Kajian keselamatan dijelaskan dalam suatu analisis keselamatan.

Jika dilihat pada sistem perangkat kri-tik, maka ada beberapa faktor yang dapat menyebabkan terjadinya kecelakaan. Suatu peristiwa kecelakaan yang dipostulasikan adalah timbulnya suatu reaksi superkritis. Hal ini dapat terjadi apabila :

- a Terjadi kegagalan pada sistem instru-mentasi pengukuran, sehingga harga pengukuran fluks neutron di dalam teras tidak dapat diukur secara benar. Hal ini dapat menimbulkan adanya kebolehjadian reaksi superkritis.
- b Terjadi kegagalan pada sistem pemasok batang kendali pengaman yang bertugas untuk mengantisipasi kecelakaan, baik secara otomatis maupun manual.
- c Terjadi kebocoran yang tak terkendali pada tangki atau sistem penyedia moderator/pendingin, sehingga mengakibatkan timbulnya kehilangan pendinginan dan pemanasan pada bahan bakar.

Disamping reaksi superkritis sebagai kejadian kecelakaan yang fatal,

adanya paparan radiasi gamma disekitar fasilitas perangkat kritik juga harus diperhatikan sebagai faktor potensial. Untuk mengatasi perma-salahan ini maka sistem pemantau dan sistem proteksi reaktor dan radiasi harus difungsikan dengan baik dan atau menggunakan sistem redundansi apabila dibutuhkan.

## KESIMPULAN

Pembuatan konsep disain dari teras perangkat kritik Silisida merupakan tahap awal dari pembuatan disain perangkat kritik silisida. Dalam pembuatan konsep disain ini hanya dibahas setiap topik secara garis besar dan konseptual saja, sehingga secara rinci tentunya belum dapat diberikan. Dalam konsep disain, teras perangkat kritik silisida hanya terdiri dari bahan bakar, bahan struktur stringer dan moderator. Ditambahkannya sistem instrumentasi dan keselamatan merupakan kelengkapan keselamatan belaka.

Dengan diselesaikannya pembuatan konsep disain teras perangkat kritik, maka akan memperjelas gambaran tentang tahap-tahap yang harus dilakukan dalam pembuatan suatu disain perangkat kritik. Konsep disain merupakan tahap awal dalam pembuatan disain sebelum dibuat suatu *basic* disain dan *detail* disain. Dari konsep disain yang telah ada ini diharapkan akan dapat dibuat suatu tahap *basic* disain yang lebih lengkap.

## PUSTAKA

1. NIPPON KOKAN KK, Critical Assembly Facility, Tokyo, Japan, August 1986.
2. ASKEW, JR., FAYERS, FL, AND KEMSHELL, P.B., "A General Des-cription of the code WIMS", Jour. Of Brit. Energy Soc.5, 1996.
3. LIEM PENG HONG, Pengembangan program komputer standar Batan difusi neutron banyak kelompok 3-D (Batan-3DIFF), Komputasi Dalam Sains dan Teknologi Nuklir V, Batan, Jakarta 1995.
4. INTERATOM, SAR RSG-GAS, volume 2, Jakarta